

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-146757

(43)Date of publication of application : 26.05.2000

(51)Int.Cl.

G01M 11/02
// G02B 13/00
H01L 21/027

(21)Application number : 10-321685

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 12.11.1998

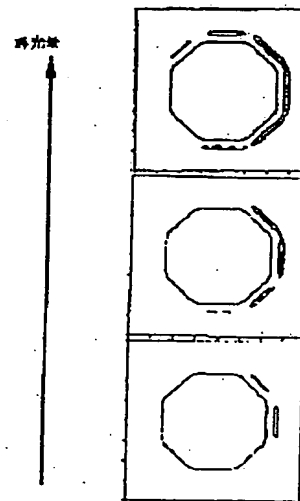
(72)Inventor : FUKUDA HIROSHI
SHIRAI SEIICHIRO
TERASAWA TSUNEO
HAYANO KATSUYA
HASEGAWA NORIO

(54) METHOD FOR MEASURING ABERRATION OF PROJECTION LENS

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To accurately measure aberration by measuring the light intensity of the projection images of (n) points with different patterns that exist in an isoplanate region for measuring characteristics and solving (n) simultaneous equations with (m) weighting coefficients for a known wave front aberration function as unknown values.

SOLUTION: When the characteristics of a projection lens that is used for forming a pattern on a substrate by projecting light through a mask with a circuit pattern onto the substrate via the projection lens for exposure, the light intensity of (n) projection images with different patterns that exist in an isoplanate region for measuring characteristics on the mask is measured and n simultaneous equations with m weighting coefficients for (m) known wave front aberration function ($m < n$) as known values, thus accurately obtaining the (m) aberration coefficients. Further, the position fluctuation and the like of the pattern on the mask are predicted based on characteristics obtained in this manner and are corrected for forming, thus accurately forming the circuit pattern.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

BEST AVAILABLE COPY

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[The technical field to which invention belongs] This invention relates to the mask used for the pattern formation method and this using the manufacturing process of semiconductor integrated circuit equipment especially the optical system used for formation of a circuit pattern, and this.

[0002]

[Description of the Prior Art] Large-scale-izing and high-performance-izing of a semiconductor integrated circuit are progressing by detailed-ization of a circuit pattern. Although the optical lithography which carries out projection exposure of the light which passed the mask which has a circuit pattern on a substrate through a projection lens is mainly used for formation of a circuit pattern, diffraction marginal optical system with wave aberration small enough as the above-mentioned projection lens is used in this case. On the other hand, it has come to be required comparable as the wavelength of the light used for exposure by detailed-ization in recent years or that the circuit pattern of the size not more than it should be formed. Deteriorating in connection with it by the wave aberration to which the pattern dimensional accuracy and pattern location precision which are imprinted remain on a projection lens has posed a problem. It is difficult to produce these wave aberration according to the manufacture error in the incompleteness and the manufacturing process of layout of a projection lens, and to be completely referred to as 0. However, in order to fulfill the pattern precision demanded in order to obtain the desired device engine performance, it is required to offset the effect which high-degree-of-accuracy-izes manufacture and adjustment of a projection lens, and fully stops the amount of wave aberration, or aberration does by amending the size or location of a mask top pattern. Also in the any, it becomes indispensable to measure aberration correctly to the 1st first, and to grasp the property. In recent years, especially the effect of comatic aberration is serious among various aberration. Then, in order to measure this, various methods as shown below in before are tried.

[0003] By the lens manufacturing process, measuring wave aberration directly by interference measurement is performed to the 1st. However, in the projection lens for semiconductor integrated circuit exposure, the measurable interferometer is very expensive and the use is limited extremely.

[0004] Although the method of presuming comatic aberration by on the other hand measuring a location gap using the alignment mark pattern (the so-called box in box mold) which improved and deformed is reported, it is only the effect of the direction in every direction on the 3rd comatic aberration which can be measured by this method. About the aberration measuring method using a location gap of an alignment mark, it is a proceeding, for example. OBU S PIAII Optical the 3334th volume It is discussed by the 308th page (Proceedings of SPIE, Vol.3334, Optical Microlithography XI (1998), pp.297-308) from the 297th page in the micro lithography XI and (1998).

[0005] Furthermore, the method using 8 square-shape halftone mask is proposed. By this method, the 3rd comatic aberration is presumed from the light exposure to which a side lobe appears around [of the halftone mask which has the opening of eight square shapes] a opening, its asymmetry, and the relation of the 3rd comatic aberration. The 3rd comatic-aberration measuring method which used this for "innovation of ULSI lithography technology" and 38 pages (the Science forum company **, 1994) further about the halftone phase shift mask is discussed by the

collection of the 58th Japan Society of Applied Physics academic lecture meeting lecture drafts, the 2nd volume, and the 681st page, for example.

[0006]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] The wave aberration (below, since it is easy, it is only called aberration) made an issue of conventionally was mainly a low degree or the 3rd aberration. However, the dimensional accuracy and pattern location precision which are demanded with detailed-izing of a circuit pattern become severe, and higher order aberration is becoming a problem. That is, an experimental result will not be able to be explained but it will be necessary to take into consideration the 5th so-called term of aberration only by the 3rd aberration. For example, if it says about the above-mentioned comatic aberration, especially the component that has the dependency of 3θ in the radius vector (angle) direction among the 5th aberration poses a problem.

[0007] however, the former and the above -- even if it used which method, it was difficult to measure and grasp these high order aberration simple and quantitatively. For this reason, it was difficult to acquire the clear indicator over the adjustment method of a projection lens. Moreover, the effect affect the circuit pattern of aberration could not be predicted and the cure could not be formed, but the function of semiconductor integrated circuit equipment and precision were degraded as a result, and it had become the factor which reduces the yield in the manufacture.

[0008] This invention sets it as the 1st purpose to offer the method of measuring the aberration of a projection lens with a sufficient precision using a simple method. The method of measuring the 3rd comatic aberration [5th] with a sufficient precision quantitatively using the halftone mask which has especially polygon opening is offered. Furthermore, this invention sets it as the 2nd purpose to form the circuit pattern of a semiconductor integrated circuit with a sufficient precision using this.

[0009]

[Means for Solving the Problem] The 1st purpose of the above measures optical reinforcement of a projection image of n points that patterns which exist in an isoplanetic field which is going to measure the above-mentioned property on a mask differ, and solution Lycium chinense attains n simultaneous equations which make an unknown a weighting factor of m pieces to m known wave aberration functions (m below n) by asking for the above-mentioned aberration coefficient of m pieces. A thing of subregion which can be regarded as an aberration property being almost equivalent in an exposure field is called an isoplanetic field here.

[0010] It is convenient if you use optical reinforcement of a side lobe produced on some halftone masks as the above-mentioned optical reinforcement here. Namely, an exposure imprint is carried out at a resist film which applied on a substrate a halftone mask of an n -tuple which has parallel and symmetrical edge of each other by various light exposure through a projection lens, for example. Light exposure in which a side-lobe pattern produced in a halftone protection-from-light section side of each above-mentioned edge appears is measured. From a ratio of the above-mentioned light exposure of n pieces to a symmetrical edge of the above-mentioned n -tuple, simultaneous equations of an n -tuple can be asked for an aberration coefficient of m (m below n) individual of the above-mentioned projection lens by solution Lycium chinense.

[0011] 8 square-shape opening in the halftone partial protection-from-light section is still more specifically used as an parallel and symmetrical edge mutually [an n -tuple]. The maximum f of wave aberration to the above-mentioned direction (θ) is calculated from the ratio $r(\theta)$ of light exposure to which a side lobe appears in one side to the opposite direction (an angle θ , $\theta = \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m$) of 4 sets of opposite sides of the eight above-mentioned square shape, and light exposure to which a side lobe appears also in another side. It can ask for the coefficient [as opposed to the i -th term wave aberration $W_i(\theta)$ ($i = 1, \dots, m$) of the above-mentioned projection lens for the following simultaneous equations] a_i ($i = 1, \dots, m$) by solution Lycium chinense.

[0012] $a_1 W_1(\theta) + a_2 W_2(\theta) + \dots + a_m W_m(\theta) = f(\theta)$ ($\theta = \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m$) As aberration, the 3rd comatic aberration [5th] is applicable, for example.

[0013] Moreover, the 2nd purpose of the above is attained by carrying out pattern formation using

the above-mentioned projection lens which had an aberration property adjusted based on aberration measured using an above-mentioned method. Or effect affect a size of a mask top pattern of aberration measured using an above-mentioned method or location fluctuation is predicted, and it is attained by carrying out pattern formation using a mask which amended this beforehand.

[0014]

[Embodiment of the Invention] (Example 1) The exposure imprint of the halftone phase shift mask (6% of permeability of the halftone section) which has eight square shape patterns in opening was carried out on the substrate which formed the resist film by various light exposure using the KrF projection aligner. Next, the light exposure in which the halftone protection-from-light section side of each side of eight square shapes is approached, and a side lobe appears was investigated, and the result typically shown in drawing 1 was obtained. Exposure was performed in the optimal focus. the ratio (= side-lobe intensity ratio) of the minimum light exposure to which a side lobe appears in the minimum light exposure to which a side lobe appears in one side about each of 4 sets of opposite sides of eight square shapes, and both -- $r(0)$, $r(p/4)$, $r(p/2)$, and $r(3p/4)$ And the sequence (= side-lobe on-the-strength size relation) of appearing is summarized in a table 1.

[0015]

[A table 1]
表1

	強度比	位相差
→	1.1053	0.0361
↗	1.0769	0.0266
↑	1.5429	0.1616
↖	1.2895	0.0938

[0016] On the other hand, producing the asymmetry of a side lobe according to comatic aberration is known. Here, supposing the term (here, this term will be called the 5th comatic aberration below) in which aberration has the property of 3theta among the 3rd comatic aberration and the 5th aberration is dominant, wave aberration $W(r, \theta)$ is expressed with a degree type. However, r is the radial coordinate (a pupil radius is standardized by 1) of a pupil, and θ is the angle (radius vector) direction coordinate of a pupil.

[0017] $W(r, \theta) = a_1 r^3 \cos(\theta) + a_2 r^3 \sin(\theta) + a_3 r^3 \cos(3\theta) + a_4 r^3 \sin(3\theta) = f(\theta)$ On r^3 pupil, aberration changes to radial by cube of r in every direction of radial. It turns out that the amount f of wave aberration (θ) in the edge ($r=1$, overall diameter portion) of a pupil is dependent on a direction (angle θ). Here, if the sufficiently large size of eight square shapes is taken, since it can be considered substantially that each of the opposite side of eight square shape patterns is an about 1-dimensional pattern, side-lobe asymmetry is determined by only the amount of wave aberration of each opposite direction (therefore, the maximum $f(\theta)$). Then, drawing 2 asked for the relation of the amount of maximum wave side gaps by the comatic aberration in an opposite side side-lobe intensity ratio and its direction (value of the aberration in a pupil edge) by the simulation. Amount of maximum wave side wave face gaps $f(0)$ to each direction from a side-lobe intensity ratio [as opposed to each opposite direction by using this relation], and $f(p/4)$, $f(p/2)$ and $f(3p/4)$ It asked. However, suppose that the sign of the wave face gap to the direction concerned is decided with the sense of the strength of a side lobe. Moreover, it depends for the relation of drawing 2 on lighting conditions (space degree of coherence), mask conditions (permeability of the halftone section), etc. of the aligner to be used. Therefore, it is desirable to use the optimal relation according to these conditions.

[0018] Next, $f(0)$, and $f(p/4)$, $f(p/2)$ and $f(3p/4)$ for which it asked in the top It received, the following equations were solved and the 3rd comatic-aberration coefficients [5th] a_1 , a_2 , a_3 , and a_4 were determined.

[0019] $a_1 \cos(0) + a_2 \sin(0) + a_3 \cos(3 \cdot 0) + a_4 \sin(3 \cdot 0) = f(0)$, $a_1 \cos(p/4) + a_2 \sin(p/4) + a_3 \cos(3 \cdot p/4) + a_4 \sin(3 \cdot p/4) = f(p/4)$, $a_1 \cos(p/2) + a_2 \sin(p/2) + a_3 \cos(3 \cdot p/2) + a_4 \sin(3 \cdot p/2) = f(p/2)$, $a_1 \cos(3p/4) + a_2 \sin(3p/4) + a_3 \cos(3 \cdot 3p/4) + a_4 \sin(3 \cdot 3p/4) = f(3p/4)$ table 2. The result of having performed the projection image simulation of eight square shape patterns is shown in drawing 3 using the aberration coefficient for which it asked. The experimental result was reproduced almost correctly and it checked that the called-for aberration coefficient was appropriate.

[0020]

[A table 2]

表 2

a_1	a_2	a_3	a_4
-0.0057	0.1234	0.0418	-0.0382

[0021] (Example 2) Semiconductor integrated circuit equipment was manufactured using the aligner which has projection optics different from an example 1. Here, only paying attention to a ***** production process, it mainly describes to this invention. The substrate interlayer insulation film etched by having used as the mask the resist pattern formed on the substrate which has a gate film and a resist film on the surface by etching a substrate gate film by using as a mask the resist pattern which carried out the exposure imprint of the straight line-like gate pattern 1, and was formed, carrying out the laminating of an interlayer insulation film and the predetermined resist film for the gate processing and after that, carrying out alignment of the contact hole pattern 2 to the above-mentioned gate pattern, and carrying out an exposure imprint, and the contact hole processed. Some of plans and cross sections of a device which were formed are shown in drawing 4.

[0022] Especially drawing 4 (a) is the plane and cross section having shown typically the device configuration formed without adjusting to optical system. Since the imprint location of a contact hole 2 and the imprint location of the gate 1 shifted sharply relatively and this discrepancy and direction were further changed sharply in the exposure field of a chip, it was difficult to obtain a desired device function. Then, the same measurement as an example 1 was performed to the above-mentioned projection optics, and the result of table 3 upper case was obtained. Furthermore, the projection lens was adjusted based on this result. In addition, said gate 1, the gate insulator layer 3 and the source field 4, and the drain field 5 are formed in the active region of the semiconductor substrate 7 (it consists of silicon) divided by the isolation insulator layer 6 (for example, it consists of silicon oxide), and a contact hole 2 is formed in the insulator layer 8 (silicon oxide) prepared on the gate 1. The gate 1 shown here has the poly metal structure where the laminating of a polycrystalline silicon film, a CHITSU-ized tungsten (NW) film, and the tungsten film was carried out one by one, and the insulator layer 9 (SHIRIKONCHITSU-ized film) is formed in the side wall.

[0023]

[A table 3]

表 3

	a_1	a_2	a_3	a_4
調整前	-0.1015	-0.0568	-0.0495	0.1088
調整後	-0.0057	0.0098	-0.0201	0.0153

[0024] The again same measurement as an example 1 was performed after adjustment, and the result of the table 3 lower berth was obtained. It was checked that aberration had been reduced by this. Furthermore, semiconductor integrated circuit equipment was manufactured using the projection aligner which has a lens after adjustment. Drawing 4 (b) is the result same [at the time

of using the lens after adjustment J. By performing adjustment based on the measurement result of an example 1, it became possible to control the above-mentioned amount of gaps sharply. It became possible to manufacture the semiconductor integrated circuit equipment which has a good electrical property by this by the high yield.

[0025] (Example 3) The method of the above-mentioned example 2 was applied to the projection lens of further others. However, it was difficult to fully reduce aberration also by adjustment of a projection lens. Then, the aberration which remains after adjustment was measured all over the exposure field (it depends for aberration on the location in an exposure field), and the effect which does to the device pattern was predicted using the simulation. Next, based on this prediction, the pattern location on a mask was amended depending on the location in an exposure field. The drawing location amendment function of mask drawing equipment was used for amendment of a location.

[0026] Furthermore, amendment of a mask pattern size was also performed to the very detailed memory pattern of a memory IC. It is because the size of a pattern does not become as layout according to aberration. Several sorts of memory cell patterns amended by the magnitude and the sense of aberration the optimal are prepared, and the optimal cel was arranged according to the location in an exposure field. It became possible to form a semiconductor integrated circuit pattern in the precision demanded also when aberration remains by this example.

[0027] (Example 4) This example describes the decision method of the aberration by the option. A fundamental view is described first. Suppose that wave aberration W is expressed by the sum of the following polynomials.

[0028] $W(X, Y) = a_1 W_1(X, Y) + \dots$ The coefficient of the j-th term of aberration, and X and Y of $+a_m W_m(X, Y)$, however a_j are the coordinates on a pupil. It says [determining aberration]. It is exactly calculating a_j . Coherent image amplitude distribution u in this case (x y) It is given by the degree type.

[0029] $u(x, y) = \text{mask}(x, y) (X) \text{psf}(x, y) = \text{mask}(x, y) [P(X, Y), \exp(X) F(-i \{a_1 W_1(X, Y) + \dots\}) + a_m W_m(X, Y)] = \text{mask}(x, y) [P(X, Y) - (X) F(1 - i \{a_1 W_1(X, Y) + \dots\}) [+] a_m W_m(X, Y)] \doteq u_0(x, y) - i \{a_1 \text{mask}(x, y) (X) F[W_1(X, Y) P(X, Y)] + \dots + a_m \text{mask}(x, y) (X) F[W_m(X, Y) P(X, Y)]\}$
However A (X) B is the convolution integral (convolution) of A and B, and F [C]. The Fourier transform of C, For mask (x y), complex amplitude permeability distribution of a mask and psf (x y) of a point spread function and P (X, Y) are [a pupil function and $u_0(x, y)$] the coherent amplitude distribution at the time of aberration 0 ($=\text{mask}(x, y) (X) F[P(X, Y)]$). In addition, it sets from the 2nd line to the shift to the 3rd line, and is $a_1 W_1(X, Y) + \dots + a_m W_m(X, Y)$ It approximated by assuming that a value is sufficiently small. From a top type $Du(x, y) = u(x, y) - u_0(x, y) = S_1 a_1 + S_2 a_2 + \dots + S_m a_m$ $S_j = -i \text{mask}(x, y) (X)$ The image amplitude u of a pattern projection image (x y) is investigated at n points on F [P (X, Y) $W_j(X, Y)$] mask. If the difference $Du(x, y)$ with the ideal value $u_0(x, y)$ is searched for, n linear equations which have m unknowns a_1, a_2, \dots, a_m will be made. Solution Lycium chinense can determine each aberration coefficient a_1, a_2, \dots, a_m for this.

[0030] A concrete procedure is shown below. First, to n points on the given mask pattern, the optical reinforcement I in each point is measured, the square root is taken, and the amplitude absolute value u is calculated. Under the present circumstances, it is desirable to use the high lighting conditions of spatial coherence as much as possible. Vector $\mathbf{U} =$ which calculates the ideal amplitude value in above-mentioned each point using a simulation, and, on the other hand, uses the difference $Du_k (k=1, \dots, n)$ of the value of the above-mentioned amplitude measurement value, and ideal amplitude value in each point as a component $[u_1, \dots, u_n]$ t is created. (However, V_t expresses the symmetric matrix of Matrix V.) The j-th term of aberration when assuming wave aberration by the above-mentioned polynomial ($j=1, \dots, m$) It receives and is complex amplitude permeability distribution of F [P (X, Y) $W_j(X, Y)$] and a mask pattern. The convolution of mask (x y), The value in the k-th point on a mask ($k=1, \dots, n$) is calculated, and it is referred to as T_{jk} . Namely, $T_{jk} = \text{mask}(x, y) (X) F[P(X, Y) W_j(X, Y)] (@ x=x_k, y=y_k)$ This is calculated to all point of measurement and all aberration terms, and it is matrix $T = [T_{jk}]$ It makes. Next, vector

$A =$ which fills the following linearity simultaneous equations to Matrix T and Vector U . It asks for $[a_1, \dots, a_m]$. The j -th element of A is the coefficient to the aberration term corresponding to the j -th train of Matrix T for which it asks.

[0031] $U = T A$ -- it is so desirable that it is desirable that it is larger than the arity m of aberration as for several n point of measurement and there are here. [many] In this case, the most appropriate solution over Vector A makes $|T A - U|$ min. This problem can be easily searched for by using the so-called technique of singular-value-decomposition.

[0032] In fact, it may often be difficult to measure the absolute value of optical reinforcement. In this case, a problem can be transformed as follows. The ratio of the optical reinforcement [in / two $P_k(s)$ and $Q_k(s)$ ($k = 1, \dots, n$) are chosen, and / Point P_k] of the n -tuple on the given mask pattern and the optical reinforcement in Point Q_k is measured, the square root is taken further, and it asks for the ratio r_k of both amplitude absolute value. Vector $R =$ which uses the above-mentioned gain r_k ($k = 1, \dots, n$) in the point pair of the above-mentioned n -tuple as a component $[r_1, \dots, r_m]$ is created. The value of TP_{jk} in [as opposed to / on the other hand / the term of the k -th above-mentioned point pair ($k = 1, \dots, n$) and Aberration j ($j = 1, \dots, m$)] Point P_k , and value of TQ_{jk} in Point Q_k It calculates. This is performed to all point pairs and aberration terms, and matrix $TP = [TP_{jk}]$ and $TQ = [TQ_{jk}]$ are made. Next, to Matrices TP and TQ and Vector R , the following linearity simultaneous equations are solved and it is vector $A =$. It asks for $[a_1, \dots, a_m]$. However, u_0 is the value of the coherent amplitude in each point when using ideal optical system.

The j -th element of $TP - A - TQ - A - R t = u_0 A$ ($R t - 1$) is a coefficient to the j -th aberration term. Also in this case, as for the number of the point pairs measured as much as possible using the high lighting conditions of spatial coherence, it is same that it should take more mostly than the number of the aberration terms to search for. Moreover, the optimum solution of the same is said of the ability to ask by using the technique of singular-value-decomposition.

[0033] (Example 5) Based on an example 4, the example which determined the coefficient of the 4th same aberration term as having stated to the example 1 using the hole pattern on a halftone mask is described.

[0034] First, coherent image $u_j(x, y) = \text{mask}$ which makes each aberration a substantial pupil function to the hole pattern on a halftone mask (x, y) $(X) F [P(X, Y) W_j(X, Y)]$ is calculated, and the angular dependence v_1 of the side-lobe amplitude in each (q) , $v_2(q)$, $v_3(q)$, and $v_4(q)$ are calculated. Next, side-lobe reinforcement is measured at four angles of arbitration. For example, when light exposure is increased, it asks for the angles (angle of = side-lobe on-the-strength min) q_4 and E_4 of the portion to which all the perimeters of a hole pattern are connected with q_3 , E_3 , and the last in a side lobe in the angle in which a side lobe appears first, the angle to which a side lobe appears light exposure in q_1 , E_1 , and a degree, the angle to which a side lobe appears light exposure in q_2 , E_2 , and the third, The side-lobe reinforcement u_1 , u_2 , u_3 , and u_4 in each angle can be found from the inverse number and the so-called threshold reinforcement (light exposure from which the resist thickness in the large area opening pattern after development is set to 0) of E_1 to E_4 . The coefficients a_1 , a_2 , a_3 , and a_4 for which it asks solve the following simultaneous equations, and can be found.

[0035]
 $a_1 v_1(q_1) + a_2 v_2(q_1) + a_3 v_3(q_1) + a_4 v_4(q_1) = u_1 - u_0 a_1 v_1(q_2) + a_2 v_2(q_2) + a_3 v_3(q_2) + a_4 v_4(q_2) =$
 $u_2 - u_0 a_1 v_1(q_3) + a_2 v_2(q_3) + a_3 v_3(q_3) + a_4 v_4(q_3) = u_3 - u_0 a_1 v_1(q_4) + a_2 v_2(q_4) + a_3 v_3(q_4)$
 $+ a_4 v_4(q_4) = u_4 - u_0$ method The result almost equal to an example 1 was obtained.

[0036] The above-mentioned hole pattern may use a square pattern, when a size is sufficiently small (when the pattern after an imprint can specifically consider substantially that it is circular). When using a bigger pattern than this, it is desirable to consider as the circular or nearest circular possible polygon.

[0037]
 [Effect of the Invention] As mentioned above, when the property of the projection lens used in case a pattern is formed on the above-mentioned substrate by carrying out projection exposure of the light which passed the mask which has a circuit pattern on a substrate through a projection lens according to this invention is measured, The optical reinforcement of the projection image of n

points that the patterns which exist in the isoplanetic field which is going to measure the above-mentioned property on a mask differ is measured. n simultaneous equations which make an unknown the weighting factor of m pieces to m known wave aberration functions ($m < n$) can be correctly asked for the aberration coefficient of the m above-mentioned pieces by solution of the system. Furthermore, the circuit pattern of a semiconductor integrated circuit can form with a sufficient precision by predicting the effect which affects the size of a mask top pattern, or location fluctuation based on the property of the projection lens for which carried out in this way and it asked, using the above-mentioned projection lens which had the aberration property adjusted based on the property of the projection lens for which carried out in this way and it asked, and carrying out pattern formation using the mask which amended this beforehand.

[Translation done.]

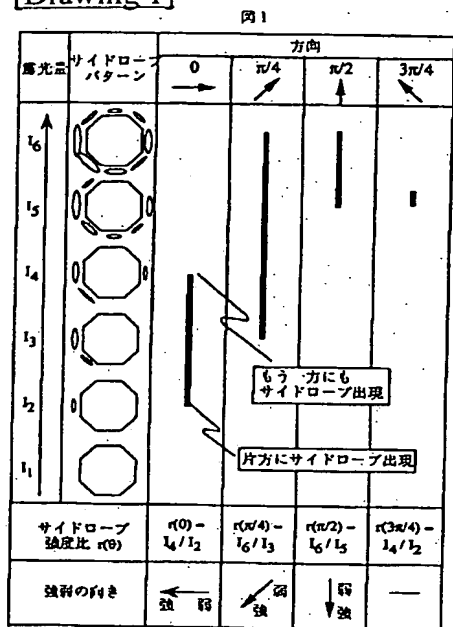
* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

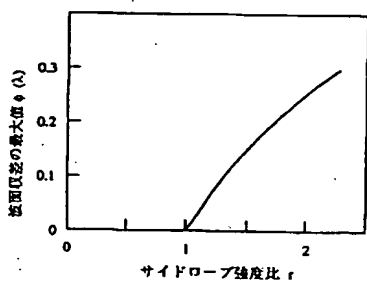
DRAWINGS

[Drawing 1]



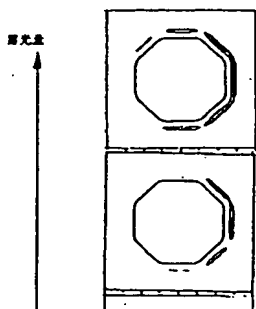
[Drawing 2]

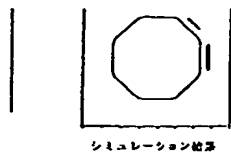
図2



[Drawing 3]

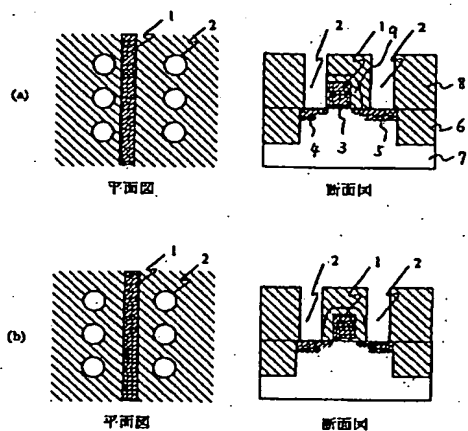
図3





[Drawing 4]

図4



[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-146757

(P2000-146757A)

(43) 公開日 平成12年5月26日 (2000. 5. 26)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード (参考)
G 0 1 M 11/02		G 0 1 M 11/02	B 2 G 0 8 6
// G 0 2 B 13/00		G 0 2 B 13/00	2 H 0 8 7
H 0 1 L 21/027		H 0 1 L 21/30	5 1 6 A 5 F 0 4 6
			9 A 0 0 1

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平10-321685

(22) 出願日 平成10年11月12日 (1998. 11. 12)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 福田 宏

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(72) 発明者 白井 精一郎

東京都青梅市新町六丁目16番地の3 株式

会社日立製作所デバイス開発センタ内

(74) 代理人 100068504

弁理士 小川 勝男

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 投影レンズの収差測定方法

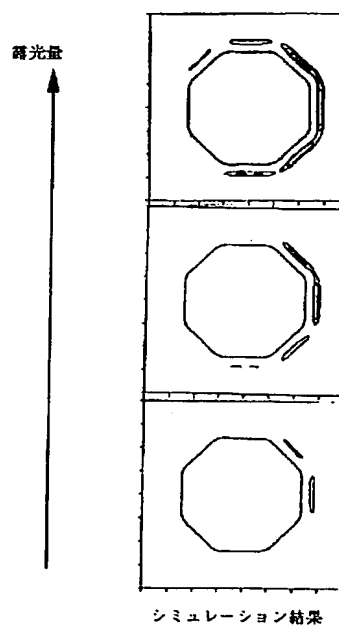
(57) 【要約】

【課題】 投影露光装置の光学系収差のため、所望のデバイス性能を得るために必要な回路パターンの寸法及び位置精度が得られない。さらに上記収差の正確な測定が困難なため、これを正しく補正することができない。

【解決手段】 マスク上パターンの異なる n 個の点の投影像の光強度を測定し、 m 個 ($m < n$) の既知の波面収差関数に対する m 個の重み係数を未知数とする n 個の連立方程式を解くことにより、投影レンズの収差を正確に求める、これに基づき収差特性を調整したり、又はマスク上パターンの寸法又は位置を補正する。

【効果】 半導体集積回路装置の性能が向上する。またその製造工程における歩留まりが向上する。

図 3



【特許請求の範囲】

【請求項1】マスク上に形成された回路パターンを基板上に投影露光するために用いる投影レンズの収差測定方法であって、

上記収差を測定しようとする上記投影レンズのマスクにおけるアイソプラナティックな領域内に存在する測定パターンの異なる n 個の点の投影像の光強度を測定し、 m 個 (m は n 以下の整数) の既知の波面収差関数に対する m 個の重み係数を未知数とする n 個の連立方程式を解くことにより、 m 個の上記係数を求めることを特徴とする投影レンズの収差測定方法。

【請求項2】前記収差の測定に用いるマスクはハーフトーンマスクであり、前記測定パターンは n 組の互いに平行かつ反対称なエッジを有するパターンであり、前記投影像の光強度の測定は前記投影レンズを介して様々な露光量で基板上に塗布したレジスト膜に露光転写し、上記各エッジのハーフトーン遮光部側に生じるサイドローブパターンの出現する露光量を測定する工程を含み、上記 n 組の対称なエッジに対して求めた n 個の上記露光量の比から、 n 組の連立方程式を解くことにより、 m ($m < n$) 個の上記収差係数を求めることを特徴とする請求項1記載の投影レンズの収差測定方法。

【請求項3】上記 n 組の互いに平行かつ対称なエッジは、ハーフトーン部分遮光部中に存在する八角形開口部の各辺であり、上記八角形の4組の対向辺の対向方向 (角度 $\theta = 0, \pi/4, \pi/2, 3\pi/4$) に対して一方にサイドローブの出現する露光量ともう一方にもサイドローブの出現する露光量の比 $r(\theta)$ から上記方向に対する波面収差の最大値 $f(\theta)$ を求め、以下の連立方程式を解くことにより上記投影レンズの4つのコマ収差係数 a_1, a_2, a_3, a_4 を求めることを特徴とする請求項2記載の投影レンズの収差測定方法。

$$a_1 W_1(\theta) + a_2 W_2(\theta) + a_3 W_3(\theta) + a_4 W_4(\theta) = f(\theta) \quad (\theta = 0, \pi/4, \pi/2, 3\pi/4)$$

$$W_1(\theta) = \cos(\theta)$$

$$W_2(\theta) = \sin(\theta)$$

$$W_3(\theta) = \cos(3\theta)$$

$$W_4(\theta) = \sin(3\theta)$$

【請求項4】上記請求項1乃至請求項3の何れかに記載の投影レンズの収差測定方法を用いて測定された収差量に基づき収差特性を調整された上記投影レンズを用いてパターン形成することを特徴とするパターン形成方法。

【請求項5】上記請求項1乃至請求項3の何れかに記載の投影レンズの収差測定方法を用いて測定された収差のマスク上パターンの寸法又は位置変動に及ぼす影響を予測し、これをあらかじめ補正したマスクを用いてパターン形成することを特徴とするパターン形成方法。

【請求項6】上記請求項1乃至請求項3の何れかに記載の投影レンズの収差測定方法を用いて測定された収差のマスク上パターンの寸法又は位置変動に及ぼす影響を予

測し、これをあらかじめ補正したことを特徴とするマスク。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体集積回路装置の製造工程、特に回路パターンの形成に用いられる光学系、及びこれを用いたパターン形成方法及びこれに用いられるマスクに関する。

【0002】

【従来の技術】半導体集積回路の大規模化及び高性能化が、回路パターンの微細化により進んでいる。回路パターンの形成には、回路パターンを有するマスクを通過した光を投影レンズを介して基板上に投影露光する光リソグラフィが主に使用されるが、この際、上記投影レンズとしては波面収差が十分に小さな回折限界光学系が用いられている。一方、近年の微細化により露光に用いられる光の波長と同程度もしくはそれ以下の寸法の回路パターンを形成することが要求されるようになってきた。それに伴い、転写されるパターン寸法精度及びパターン位置精度が、投影レンズに残存する波面収差により劣化することが問題となってきた。これら波面収差は投影レンズの設計の不完全性及び製造工程における製造誤差により生じるもので完全に0とすることは困難である。しかしながら、所望のデバイス性能を得るために要求されるパターン精度を満たすには、投影レンズの製造及び調整を高精度化して波面収差量を十分に抑えるか、又は収差の及ぼす影響をマスク上パターンの寸法又は位置を補正することにより相殺することが必要である。そのいずれにおいても、まず第1に正確に収差を測定しその特性を把握することが不可欠となる。近年、各種収差のうち、特にコマ収差の影響が深刻となっている。そこで、これを測定するため、従来以下に示すような様々な方法が試みられている。

【0003】第1に、レンズ製造工程では干渉計測により波面収差を直接計測することが行われている。しかしながら、半導体集積回路露光用投影レンズを測定可能な干渉計は極めて高価であり、その利用は極めて限定されている。

【0004】一方、改良、変形された合わせマークパターン (いわゆるボックスインボックス型) を用いて位置ずれを測定することによりコマ収差を推定する方法が報告されているが、この方法で測定できるのは3次コマ収差の縦横方向への影響のみである。合わせマークの位置ずれを用いた収差測定方法については、例えば、プロシーディング オブ エスピーアイイー 第3334巻、オプティカル マイクロリソグラフィ-XI、(1998年)、第297頁から第308頁 (Proceedings of SPIE, Vol. 3334, Optical Microlithography XI, (1998) pp. 297-308) に論じられている。

【0005】さらに、八角形ハーフトーンマスクを用い

る方法が提案されている。この方法では8角形の開口部を有するハーフトーンマスクの、開口の周囲にサイドローブの出現する露光量とその非対称性と3次のコマ収差の関係から、3次コマ収差を推定する。ハーフトーン位相シフトマスクについては例えば「ULSIリソグラフィ技術の革新」、38頁(サイエンスフォーラム社刊、1994年)に、さらにこれを用いた3次コマ収差測定法については、例えば第58回応用物理学学会学術講演会講演予稿集、第2巻、第681頁に論じられている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】従来問題にされてきた波面収差(以下簡単のため単に収差と呼ぶ)は、主に低次、又は3次の収差であった。しかしながら、回路パターンの微細化に伴って要求される寸法精度及びパターン位置精度が厳しくなり、より高次の収差が問題になってきている。即ち、3次収差だけでは実験結果を説明できず、いわゆる収差の5次の項を考慮する必要が生じている。例えば、前述のコマ収差に関していえば、5次収差のうち、動径(角度)方向に 3θ の依存性を有する成分が特に問題となっている。

【0007】しかしながら、従来、上記いずれの方法を用いてもこれら高次の収差を簡便かつ定量的に測定、把握するのは困難だった。このため、投影レンズの調整方法に対する明確な指針を得ることが困難であった。又、収差の回路パターンに及ぼす影響を予測しその対策を立てることができず、結果として半導体集積回路装置の機能、精度を劣化させたり、その製造における歩留まりを低下させる要因になっていた。

【0008】本発明は、簡便な方法を用いて、投影レンズの収差を精度よく測定する方法を提供することを第1の目的とする。特に多角形開口部を有するハーフトーンマスクを用いて精度よく3次、5次コマ収差を定量的に測定する方法を提供する。さらに、本発明は、これを用いて半導体集積回路の回路パターンを精度よく形成することを第2の目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記第1の目的は、マスク上の上記特性を測定しようとするアイソプラナティックな領域内に存在するパターンの異なる n 個の点の投影像の光強度を測定し、 m 個(m は n 以下)の既知の波面収差関数に対する m 個の重み係数を未知数とする n 個の連立方程式を解くことにより、 m 個の上記収差係数を求めることにより達成される。ここでアイソプラナティックな領域とは、露光領域のなかで収差特性がほぼ等価であるとみなすことができる部分領域のことを呼ぶ。

【0010】ここで上記光強度としては、ハーフトーンマスクの一部に生じるサイドローブの光強度を用いると便利である。即ち、例えば n 組の互いに平行かつ対称なエッジを有するハーフトーンマスクを投影レンズを介して様々な露光量で基板上に塗布したレジスト膜に露光転

写し、上記各エッジのハーフトーン遮光部側に生じるサイドローブパターンの出現する露光量を測定し、上記 n 組の対称なエッジに対する n 個の上記露光量の比から、 n 組の連立方程式を解くことにより上記投影レンズの、 m (m は n 以下)個の収差係数を求めることができる。

【0011】さらに具体的には、 n 組の互いに平行かつ対称なエッジとしてハーフトーン部分遮光部中の8角形開口部を用い、上記8角形の4組の対向辺の対向方向(角度 θ 、 $\theta=\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m$)に対して一方にサイドローブの出現する露光量ともう一方にもサイドローブの出現する露光量の比 $r(\theta)$ から上記方向に対する波面収差の最大値 $f(\theta)$ を求め、以下の連立方程式を解くことにより上記投影レンズの第 i 項波面収差 $w_i(\theta)$ ($i=1, \dots, m$)に対する係数 a_i ($i=1, \dots, m$)を求めることができる。

【0012】 $a_1 w_1(\theta) + a_2 w_2(\theta) + \dots + a_m w_m(\theta) = f(\theta)$ ($\theta=\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m$)

収差としては、例えば3次及び5次のコマ収差を適用することができる。

【0013】又、上記第2の目的は、上記方法を用いて測定された収差に基づき収差特性を調整された上記投影レンズを用いてパターン形成することにより達成される。又は、上記方法を用いて測定された収差のマスク上パターンの寸法又は位置変動に及ぼす影響を予測し、これをあらかじめ補正したマスクを用いてパターン形成することにより達成される。

【0014】

【発明の実施の形態】(実施例1) 8角形パターンを開口部にもつハーフトーン位相シフトマスク(ハーフトーン部の透過率6%)を、KrF投影露光装置を用いて、様々な露光量でレジスト膜を形成した基板上に露光転写した。次に、8角形の各辺のハーフトーン遮光部側に近接してサイドローブの現れる露光量を調べ、図1に模式的に示す結果を得た。露光は最適焦点において行った。8角形の4組の対向辺の各々について、一方にサイドローブの出現する最小露光量と両方にサイドローブの出現する最小露光量の比(=サイドローブ強度比) $r(0)$ 、 $r(p/4)$ 、 $r(p/2)$ 、 $r(3p/4)$ 及び出現する順番(=サイドローブ強度大小関係)を表1にまとめる。

【0015】

【表1】

表1

	強度比	位相差
→	1.1053	0.0361
↗	1.0769	0.0266
↑	1.5429	0.1616
↖	1.2895	0.0938

【0016】一方、サイドローブの非対称性はコマ収差により生じることが知られている。ここで、収差が3次のコマ収差及び5次の収差のうち3 θ の特性を有する項（ここでは、以下この項を5次のコマ収差と呼ぶことにする）が支配的であるとすると、波面収差 $W(r, \theta)$ は次式で表わされる。但し、 r は瞳の半径方向座標（瞳半径を1で規格化する）、 θ は瞳の角度（動径）方向座標である。

【0017】 $W(r, \theta) = a_1 r^3 \cos(\theta) + a_2 r^3 \sin(\theta) + a_3 r^3 \cos(3\theta) + a_4 r^3 \sin(3\theta) = f(\theta) r^3$
 瞳上では半径方向のどの方向でも収差は半径方向に r の三乗で変化し、瞳のエッジ（ $r=1$ 、最大径部分）における波面収差量 $f(\theta)$ のみが方向（角度 θ ）に依存することがわかる。ここで、八角形の寸法を十分大きくすると、八角形パターンの対向辺の各々は実質的にはほぼ1次元パターンとみなせるので、サイドローブ非対称性は各対向方向の波面収差量（従ってその最大値 $f(\theta)$ ）のみにより決定される。そこでシミュレーションにより、対向辺サイドローブ強度比とその方向におけるコマ収差による最大波面ずれ量（瞳エッジにおける収差の値）の関係を求めたのが図2である。この関係を用いることにより、各対向方向に対するサイドローブ強度比から各方向に対する最大波面波面ずれ量 $f(0)$ 、 $f(p/4)$ 、 $f(p/2)$ 、 $f(3p/4)$ を求めた。但し、サイドローブの強弱の向きにより当該方向に対する波面ずれの正負符号を決めることとする。又、図2の関係は用いる露光装置の照明条件（空間コヒーレンス度）やマスク条件（ハーフトーン部の透過率）等に依存する。従って、これらの条件に応じて最適な関係を用いることが好ましい。

【0018】次に、上で求めた $f(0)$ 、 $f(p/4)$ 、 $f(p/2)$ 、 $f(3p/4)$ に対して以下の方程式を解いて、3次及び5次のコマ収差係数 a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 を決定した。

【0019】 $a_1 \cos(0) + a_2 \sin(0) + a_3 \cos(3 \cdot 0) + a_4 \sin(3 \cdot 0) = f(0)$,
 $a_1 \cos(p/4) + a_2 \sin(p/4) + a_3 \cos(3 \cdot p/4) + a_4 \sin(3 \cdot p/4) = f(p/4)$,
 $a_1 \cos(p/2) + a_2 \sin(p/2) + a_3 \cos(3 \cdot p/2) + a_4 \sin$

$(3 \cdot p/2) = f(p/2)$,

$a_1 \cos(3p/4) + a_2 \sin(3p/4) + a_3 \cos(3 \cdot 3p/4) + a_4 \sin(3 \cdot 3p/4) = f(3p/4)$

表2に結果を示す。求めた収差係数を用いて、八角形パターンの投影像シミュレーションを行った結果を図3に示す。実験結果をほぼ正確に再現しており、求められた収差係数が妥当であることを確認した。

【0020】

【表2】

表2

a_1	a_2	a_3	a_4
-0.0057	0.1234	0.0418	-0.0382

【0021】（実施例2）実施例1と別の投影光学系を有する露光装置を用いて半導体集積回路装置を製造した。ここでは本発明に主に関る工程のみに注目して述べる。表面にゲート膜とレジスト膜を有する基板上に直線状のゲートパターン1を露光転写し、形成したレジストパターンをマスクとして下地ゲート膜をエッチングしてゲートを加工、その後層間絶縁膜及び所定のレジスト膜を積層し、コンタクトホールパターン2を上記ゲートパターンに位置合わせして露光転写し、形成されたレジストパターンをマスクとして下地層間絶縁膜をエッチングしてコンタクトホールを加工した。形成されたデバイスの一部の平面図と断面図を図4に示す。

【0022】図4(a)は光学系に対して特に調整を行わないで形成したデバイス形状を模式的に示した平面及び断面図である。コンタクトホール2の転写位置とゲート1の転写位置が相対的に大幅にずれてしまい、さらにこのずれの量と方向がチップの露光領域内で大幅に変動するため、所望のデバイス機能を得ることが困難であった。そこで、上記投影光学系に対して実施例1同様の測定を行い、表3上段の結果を得た。さらに、この結果に基づき、投影レンズの調整を行った。なお、前記ゲート1やゲート絶縁膜3、ソース領域4、ドレイン領域5は素子分離絶縁膜6（例えばシリコン酸化膜からなる）で区画された半導体基板7（シリコンからなる）の活性領域に形成されており、コンタクトホール2はゲート1上に設けられた絶縁膜8（シリコン酸化膜）に形成される。ここに示したゲート1は多結晶シリコン膜とチタングステン（NW）膜及びタングステン膜が順次積層されたボリメタル構造を有し、その側壁には絶縁膜9（シリコンチタ化膜）が設けられている。

【0023】

【表3】

表 3

	a_1	a_2	a_3	a_4
調整前	-0.1015	-0.0568	-0.0495	0.1088
調整後	-0.0057	0.0098	-0.0201	0.0153

【0024】調整後に再び実施例1同様の測定を行い表3下段の結果を得た。これにより収差が低減されたことを確認した。さらに、調整後のレンズを有する投影露光装置を用いて半導体集積回路装置を製造した。図4(b)は調整後のレンズを用いた場合の同様の結果である。実施例1の測定結果に基づく調整を行うことにより、上記ずれ量を大幅に抑制することが可能になった。これにより、良好な電気特性を有する半導体集積回路装置を高い歩留まりで製造することが可能となった。

【0025】(実施例3)上記実施例2の方法をさらに他の投影レンズに適用した。しかしながら、投影レンズの調整によっても十分に収差を低減することが困難であった。そこで、調整後に残存する収差を露光領域の全面で測定し(収差は露光領域内位置に依存する)、そのデバイスパターンに及ぼす影響をシミュレーションを用いて予測した。次にこの予測に基づき、マスク上のパターン位置を露光領域内位置に依存して補正した。位置の補正には、マスク描画装置の描画位置補正機能を用いた。

【0026】さらに、メモリ集積回路の極めて微細なメ

$$\begin{aligned}
 u(x, y) &= \text{mask}(x, y) (X) \text{psf}(x, y) \\
 &= \text{mask}(x, y) (X) F [P(X, Y) \cdot \exp(-i \cdot (a_1 W_1(X, Y) + \dots \\
 &\quad + a_m W_m(X, Y)))] \\
 &= \text{mask}(x, y) (X) F [P(X, Y) \cdot (1 - i \cdot (a_1 W_1(X, Y) + \dots + \\
 &\quad + a_m W_m(X, Y)))] \\
 &= u_0(x, y) - i \cdot \{ a_1 \text{mask}(x, y) (X) F [W_1(X, Y) P(X, Y)] + \dots \\
 &\quad + a_m \text{mask}(x, y) (X) F [W_m(X, Y) P(X, Y)] \}
 \end{aligned}$$

但し、 $A(X)B$ はAとBの畳み込み積分(コンボリューション)、 $F[C]$ はCのフーリエ変換、 $\text{mask}(x, y)$ はマスクの複素振幅透過率分布、 $\text{psf}(x, y)$ は点像分布関数、 $P(X, Y)$ は瞳関数、 $u_0(x, y)$ は収差0のときのコヒーレント振幅分布(= $\text{mask}(x, y) (X) F [P(X, Y)]$)である。なお、第2行から第3行への移行において $a_1 W_1(X, Y) + \dots + a_m W_m(X, Y)$ の値は十分小さいと仮定して近似を行った。上式より

$Du(x, y) = u(x, y) - u_0(x, y) = S_1 a_1 + S_2 a_2 + \dots + S_m a_m$
 $S_j = -i \cdot \text{mask}(x, y) (X) F [P(X, Y) W_j(X, Y)]$
 マスク上のn個の点でパターン投影像の像振幅 $u(x, y)$ を調べ、その理想値 $u_0(x, y)$ との差 $Du(x, y)$ を求めると、m個の未知数 a_1, a_2, \dots, a_m を有するn個の線形方程式ができる。これを解くことにより各収差係数 a_1, a_2, \dots, a_m を決定することができる。

メモリパターンに対してはマスクパターン寸法の補正も行った。収差によりパターンの寸法が設計通りにならないからである。収差の大きさ及び向きにより最適に補正された数種のメモリセルパターンを用意し、露光領域内位置に応じて最適のセルを配置するようにした。本実施例により収差が残存する場合にも要求される精度で半導体集積回路パターンを形成することが可能となった。

【0027】(実施例4)本実施例では、別の方法による収差の決定方法について述べる。まず最初に基本的な考え方について述べる。波面収差Wが以下の様な多項式の和により表わされるとする。

$$【0028】 W(X, Y) = a_1 W_1(X, Y) + \dots + a_m W_m(X, Y)$$

但し、 a_j は収差第j項の係数、X及びYは瞳上の座標である。収差を決定するということは a_j を求めることに他ならない。この場合のコヒーレント像振幅分布 $u(x, y)$ は次式で与えられる。

【0029】

【0030】以下に具体的な手順を示す。まず、与えられたマスクパターン上のn個の点に対して、各点での光強度Iを測定し、その平方根をとって振幅絶対値uを求める。この際、できるだけ空間コヒーレンスの高い照明条件を用いることが望ましい。一方、シミュレーションを用いて上記各点における理想振幅値を求め、各点における上記振幅測定値の値と理想振幅値の差 Du_k ($k=1, \dots, n$)を成分とするベクトル $U = [u_1, \dots, u_n]^T$ を作成する。(但し、 V_t は行列Vの対称行列を表わす。)次に、波面収差を上述の多項式で仮定したときの収差第j項 ($j=1, \dots, m$)に対して $F[P(X, Y) W_j(X, Y)]$ とマスクパターンの複素振幅透過率分布 $\text{mask}(x, y)$ のコンボリューションの、マスク上の第k点 ($k=1, \dots, n$)における値を計算し T_{jk} とする。即ち、
 $T_{jk} = \text{mask}(x, y) (X) F [P(X, Y) W_j(X, Y)]$ ($x=x_k, y=y_k$)

これを全ての測定点と全ての収差項に対して計算して行列 $T = [T_{jk}]$ を作り、次に、行列 T 及びベクトル U に対して、以下の線形連立方程式を満たすベクトル $A = [a_1, \dots, a_m]^t$ を求める。 A の第 j 番目の要素が、行列 T の第 j 列に対応する収差項に対する求める係数である。

【0031】 $U = TA$

ここで測定点数 n は収差の項数 m より大きいことが望ましく、かつ、多いほど好ましい。この場合ベクトル A に対する最も妥当な解は、

$$|TA - U|$$

を最小にするものである。この問題は、いわゆる singular-value-decomposition の手法を用いることにより容易に求めることができる。

【0032】 実際には、光強度の絶対値を測定するのはしばしば困難な場合がある。この場合には、問題を次のように変形することができる。与えられたマスクパターン上の n 組の 2 点 P_k, Q_k ($k=1, \dots, n$) を選び、点 P_k における光強度と点 Q_k における光強度の比を測定し、さらにその平方根をとって両者の振幅絶対値の比 r_k を求める。上記 n 組の点対における上記振幅比 r_k ($k=1, \dots, n$) を成分とするベクトル $R = [r_1, \dots, r_n]^t$ を作成する。一方、上記第 k 番目の点対 ($k=1, \dots, n$) と収差 j ($j=1, \dots, m$) の項に対して、点 P_k における TP_{jk} の値と点 Q_k における TQ_{jk} の値を計算する。これを全ての点対と収差項に対して行い、行列 $TP = [TP_{jk}]$ 、及び $TQ = [TQ_{jk}]$ を作る。次に、行列 TP, TQ 及びベクトル R に対して、以下の線形連立方程式を解いてベクトル $A = [a_1, \dots, a_m]^t$ を求める。但し、 u_0 は理想光学系を用いたときの各点におけるコヒーレント振幅の値である。

$$TP \cdot A - TQ \cdot A \cdot R_t = u_0 (R_t - 1)$$

A の第 j 要素が第 j 番目の収差項に対する係数である。この場合にも、できるだけ空間コヒーレンスの高い照明条件を用い、測定する点対の数は求める収差項の数より多くとるべきであることは同様である。又、最適解は singular-value-decomposition の手法を用いることにより求めることができることも同様である。

【0033】 (実施例 5) 実施例 4 に基づき、ハーフトーンマスク上のホールパターンを用いて実施例 1 に述べたのと同じ 4 つの収差項の係数を決定した例について述べる。

【0034】 まず、ハーフトーンマスク上のホールパターンに対して、各収差を実質的な瞳関数とするようなコヒーレント像

$$u_j(x, y) = \text{mask}(x, y) (X) F[P(X, Y) W_j(X, Y)]$$

を計算し、各々におけるサイドローブ振幅の角度依存性 $v_1(q), v_2(q), v_3(q), v_4(q)$ を求める。次に、任意の 4 つの角度でサイドローブ強度を測定する。例えば、露光量を増大していったときに最初にサイドローブの現れる角度と露光量を q_1, E_1 、次にサイドローブの現れる角度

と露光量を q_2, E_2 、三番目にサイドローブの現れる角度と露光量を q_3, E_3 、最後にホールパターンの周囲が全てサイドローブでつながる部分の角度 (= サイドローブ強度最小の角度) q_4, E_4 を測定により求める。 E_1 から E_4 の逆数といわゆるしきい値強度 (現像後の大面積開口パターンにおけるレジスト膜厚が 0 となる露光量) から各角度におけるサイドローブ強度 u_1, u_2, u_3, u_4 が求まる。求める係数 a_1, a_2, a_3, a_4 は、以下の連立方程式を解いて求まる。

【0035】

$$a_1 v_1(q_1) + a_2 v_2(q_1) + a_3 v_3(q_1) + a_4 v_4(q_1) = u_1 - u_0$$

$$a_1 v_1(q_2) + a_2 v_2(q_2) + a_3 v_3(q_2) + a_4 v_4(q_2) = u_2 - u_0$$

$$a_1 v_1(q_3) + a_2 v_2(q_3) + a_3 v_3(q_3) + a_4 v_4(q_3) = u_3 - u_0$$

$$a_1 v_1(q_4) + a_2 v_2(q_4) + a_3 v_3(q_4) + a_4 v_4(q_4) = u_4 - u_0$$

本方法により、実施例 1 とほぼ等しい結果が得られた。

【0036】 上記ホールパターンは寸法が十分小さい場合 (具体的には転写後のパターンが実質的に円形とみなせる場合) には正方形パターンを用いてかまわない。これより大きなパターンを用いる場合には、円形もしくは円形にできるだけ近い多角形とすることが望ましい。

【0037】

【発明の効果】 以上、本発明によれば、回路パターンを有するマスクを通過した光を投影レンズを介して基板上に投影露光することにより上記基板上にパターンを形成する際に用いられる投影レンズの特性を測定する際、マスク上の上記特性を測定しようとするアイソプラナティックな領域内に存在するパターンの異なる n 個の点の投影像の光強度を測定し、 m 個 ($m < n$) の既知の波面収差関数に対する m 個の重み係数を未知数とする n 個の連立方程式を解くことにより、上記 m 個の収差係数を正確に求めることができる。さらに、この様にして求めた投影レンズの特性に基づき収差特性を調整された上記投影レンズを用いるか、又は、この様にして求めた投影レンズの特性に基づきマスク上パターンの寸法又は位置変動に及ぼす影響を予測し、これをあらかじめ補正したマスクを用いてパターン形成することにより、半導体集積回路の回路パターンを精度よく形成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の一実施例の手順の一部を示す模式図である。

【図 2】 本発明の一実施例で使用する特性図である。

【図 3】 本発明の一実施例の効果を示す特性図である。

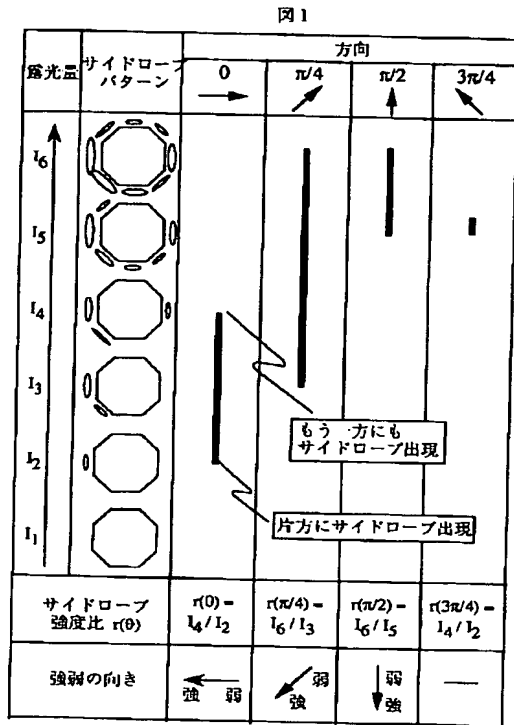
【図 4】 本発明の別の実施例の効果を模式的に示す図である。

【符号の説明】

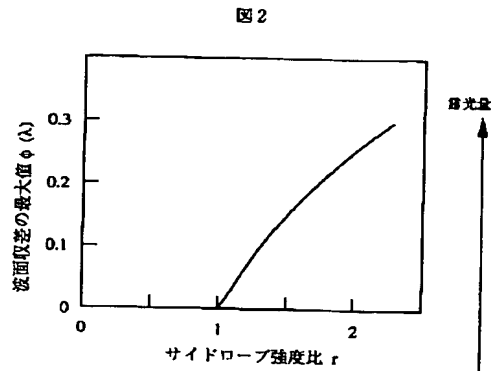
1…ゲート、2…コンタクトホール、3…ゲート絶縁

膜、4…ソース領域、5…ドレイン領域、6…素子分離
絶縁膜、7…半導体基板、8…絶縁膜、9…側壁絶縁

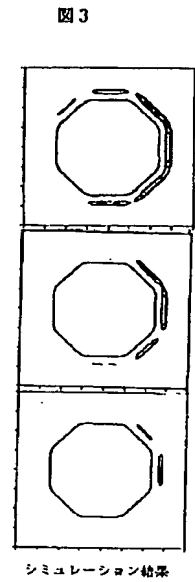
【図1】



【図2】

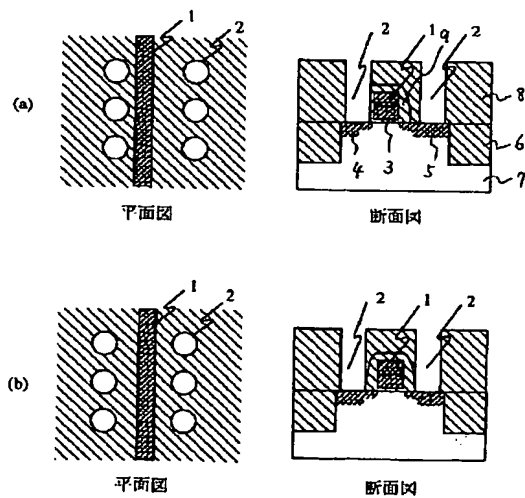


【図3】



【図4】

図4



フロントページの続き

(72)発明者 寺澤 恒男
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内
(72)発明者 早野 勝也
東京都青梅市新町六丁目16番地の3 株式
会社日立製作所デバイス開発センタ内

(72)発明者 長谷川 昇雄
東京都青梅市新町六丁目16番地の3 株式
会社日立製作所デバイス開発センタ内
Fターム(参考) 2G086 HH06
2H087 KA21 LA01 NA00 NA09
5F046 AA25 CB12 DA06 DA12
9A001 GG11

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.